

## 明 細 書

## 光スイッチ

## 関連出願のクロスレファレンス

本願は、放棄された2000年12月27日出願に係る米国特許出願第09/749,068号の一部継続出願である2001年3月5日出願に係る米国特許出願第09/799,329号の一部継続出願である。

## 技術分野

本発明は、光スイッチに関する。より詳しくは、光通信システム、光記憶装置、光演算装置、光記録装置、又は光プリンタ等、特に、特定の光毎にスイッチングを行う多チャンネル光スイッチが要望される光通信システムに適した光スイッチに関するものである。

## 背景技術

近年、光通信技術の進展とともに、高速応答、小型化、高集積化、低消費電力化、及び信号の減衰の低減化が可能な光スイッチが求められている。

従来、光スイッチとしては、液晶を用いたもの、電磁石を用いた機械的な装置により光ファイバーの位置を移動させるもの、マイクロミラーを用いるもの等が知られている。

しかし、液晶を用いた光スイッチでは、分子の配向に基づいてスイッチングを行うため、応答速度が遅く、高速通信が要求される光通信への適用は困難であった。また、偏光板を用いる必要があるため、光の利用効率が低いという問題もあった。

マイクロミラーを用いた光スイッチでは、製造プロセスが煩雑になるため、製造コストが高くなってしまうという問題があった。また、大気中を伝播する光を制御するため、信号の減衰が大きいという問題もあった。

しかしながら、この方式の光スイッチでは、光導波路間で、他の光導波路を制御するために印加される電界の影響を受け易いという問題があり、特に、光スイッチを小型化すると、必然的に各光導波路へ電界を印加する電極同士が接近するため、隣接する光導波路間での電界の影響が増大し、クロストーク等による誤動作を生ずるという問題があった。

しかし、この光スイッチング素子は、導光部が入力光の光伝達経路を一方方向にのみ延伸させる構成であるとともに、スイッチング部を導光部の不特定な全反射面に接触させて、導光部に入力した光を無作為に外部に出力するもの、即ち、光の on/off のみを行う形のスイッチであった。従って、特定な入力光を、特定な複数の出力側端子にその光路を切り替え、又は分岐して出力させる光スイッチ、複数の特定な入力光についてそれぞれの光路を切り替えて、特定な出力端子へ出力させる光スイッチ、及び複数の特定な入力光を複数の特定な出力端子へ切り替え、又は分岐して出力する多チャンネル

ル光スイッチとすることはいずれも不可能であり、画像表示のような目的には利用可能でも、光通信システムでの利用は、實際上極めて困難であった。

また、この光スイッチング素子では、導光部が、光伝達経路を一方向にのみ延伸させる構成であることに加え、これらが導光部の無限な全反射を利用する構成のため、スイッチング部での出射方向は、入光と導光部との界面での屈折を考慮すると、その全反射角度より深い角度、即ち全反射面に対してほぼ垂直方向に制限され、この点でも特定の光毎に異なる方向へ光を伝達するというスイッチングはできないものであった。

#### 発明の開示

本発明は上述の問題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、消費電力が小さく、かつ高速応答が可能であるとともに、小型化、高集積化が可能であり、かつ信号の減衰を高度に低減することができ、更には、入力した特定の光毎にスイッチングを行うことができる光通信システムに適した光スイッチを提供することにある。

そして、本発明者は、前述の問題を解決するべく鋭意研究した結果、光伝達部を、光路変更部に対向する面の一部に設けられる光反射面を起点に、光導液体からなる光伝達経路が、少なくとも3方向に向けて形成される構成とするとともに、光路変更部を、この光伝達部の光反射面に、アクチュエータ部の変位に基づいて入力光の波長レベルで接触又は離隔させることにより、上記目的を達成できることを知見し、本発明に至った。

即ち、本発明によれば、少なくとも、光伝達部と、光路変更部と、アクチュエータ部とを備える光スイッチであって、光伝達部は、少なくとも光路変更部に対向する面の一部に設けられる、光を全反射する光反射面、及びこの光反射面を起点に、少なくとも3方向に向けて設けられる、光導液体からなる光伝達経路を有してなり、光路変更部は、光伝達部の光反射面に移動可能な状態で近接され、少なくとも光を反射又は散乱する光路変更部材を有して

なり、アクチュエータ部は、外部信号により変位し、この変位を光路変更部に伝達する機構を有してなり、外部信号に応じたアクチュエータ部の変位により、光路変更部を光伝達部の光反射面に接触又は離隔させ、光路変更部が、光伝達部の光反射面から離隔した際に、光伝達経路に入力した光を、光伝達部の光反射面で全反射させて出力側の特定の光伝達経路に伝達し、光路変更部が、光伝達部の光反射面に接触した際に、光伝達経路に入力した光を取り出して、光路変更部で反射又は散乱させて、出力側の1又は2以上の特定の光伝達経路に伝達し、光路の切り替え又は分岐を行うことを特徴とする光スイッチが提供される。

本発明においては、アクチュエータ部が、圧電／電歪層と、この圧電／電歪層の一部に配設される少なくとも1対の電極とからなる圧電／電歪素子と、この圧電／電歪素子の少なくとも一部と接して、圧電／電歪素子を支持し、圧電／電歪層の歪みを屈曲変位又は振動に変換する振動部材と、この振動部材が振動できるように、振動部材の少なくとも一部を固定する固定部材と、光路変更部と圧電／電歪素子との間に必要に応じて配設され、圧電／電歪素子の変位を光路変更部に伝達する変位伝達部材とを有することが好ましい。

この際、振動部材と固定部材とを焼成一体化してセラミックス基体を構成し、かつ振動部材を薄肉構造として、セラミックス基体に、凹部若しくは空所を形成することが好ましい。また、陽極として機能する複数の層が連結してなる陽極層と、陰極として機能する複数の層が連結してなる陰極層とが、セラミックスからなる圧電／電歪層を挟んで交互に積層された積層体からなる、いわゆる積層アクチュエータとすることもできる。

また、本発明においては、光伝達部が、光の屈折率が異なる2以上の層からなることが好ましく、光伝達部の光伝達経路が、光導波路により構成されることがより好ましい。

また、光伝達部は、一の光導波体に、光伝達部の光反射面を起点に少なくとも3方向に光伝達経路が形成されるように、少なくとも2以上の光導波体

を結合して構成することができる。一方、本発明では、光伝達部の複数の光信号入力端部及び／又は光信号出力端部に、それぞれ集光レンズ又はコリメータレンズを配設し、光信号を集光レンズ又はコリメータレンズを介して入出力することが好ましい。

また、本発明においては、光路変更部が、透光性の材質からなる光導入部材を有してなるものが好ましい。また、光路変更部材としては、光を正反射若しくは乱反射する光反射体、又は光を散乱する光散乱体を挙げることができる。本発明においては、光路変更部そのものを光を乱反射する光反射体、又は光散乱体のみで構成させることもできる。また、光を正反射若しくは乱反射する光反射体は、光導入部材の変位伝達部材側の面に一体的に形成した光反射膜であってもよい。

他方、本発明によれば、前述した光スイッチを、複数個備える多チャンネル光スイッチが提供される。

本発明の多チャンネル光スイッチにおける一の実施形態としては、複数の光スイッチの各光伝達経路が、単一の光伝達部で形成されてなる多チャンネル光スイッチを挙げることができ、この多チャンネル光スイッチでは、各光伝達経路の一部が、相互に交差して、経路の一部を共用化する構成とすることができる。

本発明の多チャンネル光スイッチにおける他の実施形態としては、複数の光スイッチが、隣接する光スイッチ間で、一の出力側光伝達経路と、一の入力側光伝達経路とを連結してなり、一の光スイッチにおける入力端部から入力された光を、この一の光スイッチを含む複数の光スイッチの各光路変更部でスイッチングを行うもの；複数の光スイッチが、複数の入力側経路を有する少なくとも一以上の光スイッチと、複数の出力側経路とを有する少なくとも一以上の光スイッチとから構成され、かつ隣接する光スイッチ間で、一の出力側光伝達経路と、一の入力側光伝達経路とを連結してなり、複数の光スイッチの入力端部から入力された光を、複数の光スイッチの光路変更部でスイッチングを行うもの；又は、複数の光スイッチが、隣接する光スイッチ間

図1 (イ) (ロ) (ハ) は、 本発明の光スイッチの 一の実施形態を模式

図2は、本発明の光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である

9

5

5

3

図8は、本発明の光スイッチの他の実施形態を模式的に示す一部拡大図である。

9

図 1 1 は、積層圧電／電歪素子の製造方法の一例を模式的に示す説明図である。

図１２は、本発明の多チャンネル光スイッチの一の実施形態を模式的に示

す説明図である。

図13は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図14は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図15は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図16は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図17は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図18は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図19は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図20は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図21は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図22は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図23（イ）（ロ）は、本発明の光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図であり、図23（イ）は、光路変更部が光伝達部から離隔された状態を示すものであり、図23（ロ）は、光路変更部が光伝達部に接触した状態を示すものである。

図24は、本発明の光スイッチの他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図25は、本発明の多チャンネル光スイッチの他の実施形態を模式的に示



図 29 は、本発明の多チャンネル光スイッチの更に他の実施形態を模式的に示す説明図である。

図１（イ）（ロ）（ハ）は、本発明の光スイッチにおける一の実施形態を模式的に示す説明図であり、図１（イ）は、光路変更部が光伝達部から離隔された状態を示すものであり、図１（ロ）は、光路変更部が光伝達部に接触した状態を示すものであり、図１（ハ）は、光伝達部における、光路変更部に対向する面、及び光路変更部に対向する面を模式的に示すものである。また、図２３（イ）（ロ）は、本発明の光スイッチにおける他の実施形態について、その作動状態を模式的に示す説明図である。

一方、この状態から、逆に、アクチュエータ部 11 を非作動状態とすると、図 1 (ロ) に示すように、アクチュエータ部 11 の変位が元に戻り、光路変更部 8 の光導入部材 9 が、光伝達部 1 に光の波長以下の距離で接触するため、光伝達経路 2 に入力された光 21 は、光伝達部 1 から光導入部材 9 に取

即ち、図１（イ）（ロ）及び図２、３（イ）（ロ）に示すように、本発明の光スイッチでは、光伝達部１の光伝達経路２に導入された特定の光２１を、アクチュエータ部１１への電圧の印加等の外部信号に基づいて、任意に光路を切り替え、又は光路を分岐することで、異なる１又は２以上の光伝達経路４、５へ光を伝達し、光のスイッチングを行うものである。

このように、本発明の光スイッチでは、入力光又は出力光の進行方向を多様化することができるとともに、入力した光 2 1 毎に光伝達部 1 の光反射面 1 a 又は光路変更部 8 の光反射面 1 0 a で反射して、その反射光毎に、特定の出力側伝達経路 4、5 に伝達することができるため、特定の光毎に極めて多数の光路を任意に選択することができる。また、用途に応じて、光散乱体 1 0 f 又は乱反射体を設けた光路変更部 8 とすれば、入力した光 2 1 の光路を分岐して、複数の伝達経路 4、5 へ同時に伝達可能な光スイッチを実現できる。また、材料固有の物理効果、例えば電気光学効果等による屈折率変化を利用するものではなく、光路変更部 8 を光伝達部 1 に接触又は離隔させるという機械的動作により光伝達経路 4、5 を切り替えるため、クロストーク等の問題を生じることなく、小型化はもちろんのこと、高集積化した多チャンネルスイッチを実現できる。更には、これらスイッチングを行うための光

以下、本発明の実施の形態を、図面に基づいて各構成部毎に具体的に説明する。

図 1 (イ) (ロ) 及び図 2 3 (イ) (ロ) に示すように、本発明における光伝達部 1 は、少なくとも後述する光路変更部 8 に対向する面 1 d の一部に設けられる、光を反射する光反射面 1 a、及びこの光反射面 1 a を起点に、少なくとも 3 方向に向けて設けられる、光導波体からなる光伝達経路 2、4、5 を有するものである。これにより、前述したように、特定の光毎に極めて多数の光路を任意に選択することができる光スイッチ、或いは入力した光 2 1 の光路を分岐して、複数の伝達経路 4、5 への同時伝達が可能な光スイッチを実現できるとともに、スイッチングに関わる信号の減衰を高度に抑制することができる。

また、光伝達部 1 に設けられる光反射面 1 a が、各光伝達経路 2、4、5 の起点となるように、各光伝達経路 2、4、5 の配置を考慮して光伝達部 1

の光路変更部 8 に対向する面 1 d のうち、設計上、光伝達経路 2 に入力した光 2 1 が投射する面を含んで設ける必要がある。もっとも、本発明では、この入力した光 2 1 が投射する面を含んでいれば、光伝達部 1 の光路変更部 8 に対向する面 1 d 全てを光反射面 1 a とする必要はない。

本発明における光伝達部 1 に設けられる光伝達経路 2、4、5 としては、例えば、図 1 (イ) (ロ) (ハ)、図 2 に示すように、単一の光導波体により構成し、この光導波体の一部に、光の入出力方向と略直交する面を有する複数の光信号入力端部 4 3 及び／又は光信号出力端部 4 4 を設けることにより、光伝達部 1 の光反射面 1 a を起点に、実質的に、少なくとも 3 方向に向けて光伝達経路 2、4、5 を形成したものを挙げることができる。

但し、図 3 に示すように、本発明における光伝達部 1 は、光伝達経路 2、4、5 を光導波路 1 c により形成することが好ましい。光伝達経路 2、4、5 を、光導波路 1 c により形成すると、より狭い空間内で光の伝達を行うことができ、遠距離通信の場合に問題となる信号の減衰を高度に低減することができる。

本発明の光スイッチにおいては、光ファイバー 6 等を、光伝達部 1 の複数の光信号入力端部 4 3 及び／又は光信号出力端部 4 4 に接着剤等（図示せず）を用いて結合させて、光ファイバー 6 等と光伝達部 1 との間で、直接、光の入出力を行う構成；又は光伝達部 1 の複数の光信号入力端部 4 3 及び／又は光信号出力端部 4 4 にプリズム（図示せず）を配設し、このプリズムを介して光ファイバー 6 等と光伝達部 1 との間で光の入出力を行う構成とすることもできるが、図 1 (イ) (ロ) (ハ)、図 2 等に示すように、光伝達部 1 の複数の光信号入力端部 4 3 及び／又は光信号出力端部 4 4 に集光レンズ又はコリメータレンズ等のレンズ 7 を配設し、このレンズ 7 を介して光ファイバー等と光伝達部 1 との間で光の入出力を行う構成とすることが、光の発散による入出力ロスを小さくすることができる点で好ましい。特に、図 1 (イ) (ロ) (ハ)、図 2 に示すように、光導波体によって形成される光伝達経路 2、4、5 (3) が厳密に特定方向に制限されていない光スイッチでは、

光伝達部1での光の発散によるロスを低減するために、集光レンズ7で光を集束して光伝達部1との入出力を行う構成が好ましい。

また、図1(イ)(ロ)(ハ)、図2等にする光スイッチでは、更に光路長を短くすることにより光伝達経路2、4、5(3)での光の発散によるロスを低減するために、図23に示す光スイッチでは、様々な方向に放出される散乱光65が、光伝達経路2、4、5に伝達され得る確率を増大して光の損失を低減するために、図中1で示される厚さを小さくすることが好ましく、具体的には、厚さを1mm以下とすることが好ましく、厚さを0.5mm以下とすることがより好ましい。

また、図1(イ)(ロ)等にするような正反射光を扱う光スイッチでは、光伝達経路2、4、5の方向は、光伝達経路2、4、5を構成する光導波体と、外気(通常は空気)との屈折率の関係、及び後述する光路変更部8の反射部材10における反射角度との関係において適宜決定することができる。同様に、図23に示すような散乱光65又は乱反射光(図示せず)を扱う光スイッチでは、前者の光伝達経路2、4、5を構成する光導波体と、外気(通常は空気)との屈折率の関係を考慮して適宜決定すればよい。

他方、図1(イ)(ロ)等にするような正反射光を扱う光スイッチであっても、光伝達経路2、4、5が延伸する方向は、前述した特定の屈折率及び反射角度との関係でのみ適切な方向であればよく、例えば、図4に示すように、光伝達経路2a、2b、4a、4b、5a、5bを光導波路で構成する光スイッチでは、一の入力側光伝達経路2aと、他の入力側光伝達経路2bとのように、光伝達経路を平行とせずに延伸することができる。また、出力側光伝達経路4a、4b、5a、5bのように、光導波路内で光が全反射する範囲で、伝達経路が延伸する方向を途中で変更し、直線状の光導波路と、非直線状の光導波路との組み合わせにより、各光伝達経路2a、2b、4a、4b、5a、5bを形成することもできる。

このような光スイッチでは、光伝達経路2a、2b、4a、4b、5a、5bの形状の自由度が高く、より小型の光スイッチを実現することができる。

本発明における、光伝達経路 2、4、5 を構成する光導波体は、導入された光が内部に閉じ込められて伝達できるような屈折率を有するものであり、単一の屈折率を有する材料で構成してもよいが、屈折率の異なる 2 以上の層からなる材料で構成することが、積層方向への光の発散が抑制できる点で好ましい。

また、図 3 に示すように、各光伝達経路 2、4、5 を光導波路により形成することが、複雑な形状の光伝達経路 2、4、5 を容易に作成することができ、かつ光導路同士を容易に結合することができるとともに、前述の光導波体を層構造にしたときの特徴に加えて、層内での光の発散を抑制することができるためロス非常に少ない光の伝達が可能となる点で特に好ましい。

尚、本明細書で、「光導波路」とは、異なる屈折率分布を設けた透光性材料により構成され、内部に光を閉じ込めて光伝達を行うものを意味する。

光導波体としては、例えば、ガラス、石英、透光性プラスチック、透光性セラミックス等からなるもの、異なる屈折率を有する材料の複数層からなる多層体、又は基板の表面に透光性の材質のコーティング層を設けたもの等を挙げることができる。

また、特に光導波路の場合には、石英ガラス、アルカリ珪酸ガラス等のガラス、ニオブ酸リチウム、イットリウム鉄ガーネット等の絶縁体結晶、ガリウム砒素、インジウム燐等の化合物半導体；ポリメチルメタアクリレート（PMMA）、ポリイミド等のプラスチック（ポリマー）などからなる基板に、基板と同系の材料に不純物等をドーピングして屈折率を変更した材料からなる膜を形成したもの；同様の基板に、直接不純物等を拡散させることにより、屈折率の異なる層又は部位を形成したもの等を挙げることができる。

この際、基板に膜を形成する方法としては、例えば、スパッタリング法、分子線エピタキシー（MBE）等の真空蒸着法、化学気相堆積法（CVD）、液相成長法（LPE）、気相成長法（VPE）、プラスチック質層を形成する際に用いる熱重合法等を挙げることができる。また、不純物等を拡散さ

せる方法としては、不純物イオン注入法、不純物イオン拡散法等を挙げることができる。尚、複数層を形成する場合には、これらの方法を繰り返す行えばよく、層数についても、目的に応じて適宜選択すればよい。また、光導波路の場合には、上記の手段によって形成された膜、層を所定の光伝達経路2、4、5になるように、パターン化する必要があるが、例えば、フォトリソグラフィ法等を用いて、不要な部分を除去する方法；又は、予め、所定の光伝達経路2、4、5になるようにマスク材を前述した基板上に設置して、膜形成又は不純物の拡散を行う方法等によって実施することができる。

## 2. 光路変更部

図1（イ）（ロ）（ハ）に示すように、本発明における光路変更部8は、光伝達部1の光反射面1aに移動可能な状態で近接され、少なくとも光を反射又は散乱する光路変更部材10を有するものである。

これにより、任意に、光路変更部8を光伝達部1に接触させた際に、光伝達経路2の光21を取り出して、光路変更部材10で反射（正反射若しくは乱反射）又は散乱させ、光伝達部1の光反射面1aで反射して一の光伝達経路4に伝達する光路とは異なる光路に切り替える、又は複数の光伝達経路4、5に分岐することができる。

また、後述するアクチュエータ部11の変位による光伝達部1への接触又は離隔という機械的動作により光のスイッチングを行うことができるため、クロストーク等による誤動作を生ずることなく、小型化、高集積化した多チャンネル光スイッチを製造することができ、特に、図1に示されるような光路を切り替えるタイプの光スイッチでは、極めて有利である。更には、スイッチングを行うための光路変更部8の移動距離が、光の波長オーダーレベルで足りるため、高速なスイッチングを行うことができ、また、光路そのものを移動させる必要がないため、消費電力を低減することができる。

ここで、光伝達部1に「近接」とするとは、アクチュエータ部11が非作動状態又は作動状態で、光路変更部8が光伝達部1の光反射面1aから入力光

21の波長より長い距離で位置し、アクチュエータ部11が逆の状態、光路変更部8が光伝達部1から入力光21の波長以下の距離で位置するように配設する、ことを意味する。

本発明では、例えば、図1（イ）に示すように、光路変更部8を、アクチュエータ部11が作動している状態では、光伝達部1の光反射面1aから入力光21の波長より長い距離で位置し、図1（ロ）に示すように、アクチュエータ部11が非作動状態では、光伝達部1の光反射面1aから入力光21の波長以下の距離で位置するように配設することができる。また、図5に示すように、逆に、光路変更部8を、アクチュエータ部11が作動状態では、光伝達部1から入力光21の波長以下の距離で位置し、非作動状態では、光路変更部8が光伝達部1から入力光21の波長より長い距離に位置するように配設してもよい。尚、これらの違いは、圧電／電歪素子の構造、及びその駆動方法に従うものである。

本発明における光路変更部8としては、その目的に応じて、図1（イ）（ロ）等に示す正反射体10d、又は図23（イ）（ロ）等に示す光散乱体10f若しくは乱反射体（図示せず）を設ければよい。より具体的には、特定の光路を他の特定の光路へ切り替えることを目的とする場合には、図1（イ）（ロ）等に示すように、光路変更部8に正反射体10dを設けた光スイッチとすればよく、光路を他の複数の光路に分岐することを目的とする場合には、図23（イ）（ロ）等に示すように、光路変更部8に光散乱体10f又は乱反射体（図示せず）を設けた光スイッチとすればよい。

本発明において、光路変更部8に正反射体10dを設けた光スイッチにあつては、当該正反射体10dが、全反射するものであることが好ましい。

また、正反射体10dの反射角度は、用途に応じたスイッチの構成にあわせ適宜決定すればよく、例えば、図1（イ）（ロ）（ハ）に示すように、所定の角度を設けた斜面で反射させるものの他、図9に示すように、板状の光路変更部材10を角度0°のフラットの状態で配設するものを挙げることができる。尚、図9中、破線で示された光路は、光路変更部9が光伝達部8に



接触した際の光路を示している。

また、正反射体10dにおける反射角度は、図1(イ)(ロ)(ハ)に示すように、光伝達経路2に入力した光21を、一の出力側の光伝達経路4に伝達していた光路から、光路変更部8の正反射体10dで反射して、他の出力側の光伝達経路5へ伝達する光路に切り替える反射角度としてもよく、図2に示すように、一の入力側の光伝達経路2に入力した光(図示せず)を、出力側の光伝達経路4に伝達していた光路から、他の入力側の光伝達経路3に入力した光21を、同じ出力側の光伝達経路4に伝達する光路に切り替える反射角度としてもよい。尚、正反射が全反射である場合には、この反射角度は全反射の条件を満たすものとなる。

本発明における正反射体10dとしては、例えば、光反射性の材質からなる板状の正反射体を、所望の傾斜を設けて配設したもの、所望の傾斜を設けた光反射性の材質からなる三角柱、四角柱等の正反射体を配設したもの等を挙げることができる。また、図7に示すように、後述する電極16の表面を光反射性にして電極16に正反射体10dとしての機能を兼備させたものを挙げることができ、更には、図5に示すように、三角柱、四角柱等の基体10cに、光反射膜10bを形成したもの、図6に示すように、三角柱、四角柱等の光導入部材9の変位伝達部材12側の面に一体的に形成された光反射膜10b等を挙げることができる。

中でも、光反射部材の反射角度を正確に設定できる点で、図5に示すような三角柱、四角柱等の基体10cに、光反射膜10bを形成したもの、又は、所望の傾斜を設けた光反射性の材質からなる三角柱、四角柱等の光反射体が好ましい。

また、構成部品の削減を図れ、安価に製造することができるとともに、光路変更部8と光伝達部1との接触精度を向上させることができる点で、図6に示すように、三角柱、四角柱等の光導入部材9における変位伝達部材12側の面に一体的に形成された光反射膜10bとし、変位伝達部材12を、柔軟な材質とすることが好ましい。

尚、図6に示す光スイッチにおいて、光導入部材9の変位伝達部材12側の面に光反射膜10bを形成するのは、変位伝達部材12に形成したのでは、変位伝達部材12の特質上、反射角度の精度を維持することができないためである。従って、このような光スイッチでは、光導入部材9は、光反射部材の角度がアクチュエータ部11の作動により変化しない程度の硬度を有することが好ましい。

本発明における正反射体の材料としては、光の反射効率が低いものが好ましく、例えば、金属単体、合金、ガラス、セラミックス、ゴム、有機樹脂等を1種単独で若しくは2種以上を組合わせたものを挙げることができ、金属単体及び合金を構成する成分としては、アルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銀、銅、スズ、タンタル、タングステン、イリジウム、白金、鉛等を挙げるができる。

また、これらの材料を2種以上組合わけて用いる場合には、これらの材料を2種以上均一に含有させてもよいが、それぞれ異なる1種の材料からなる層を、複数積層させるものであってもよい。また、光路変更部材10全体がこれらの材料からなるものでもよく、図6に示すように、表面に光反射膜10bが形成されているものでもよい。

光反射膜10bを形成する方法としては、例えば、真空蒸着法、スパッタリング法、メッキ法、イオンプレーティング法、イオンビーム法、又はCVD法等の薄膜形成方法を挙げるができる。

他方、本発明において、図23に示すような光路変更部8に光散乱体10f又は乱反射体（図示せず）を設けた光スイッチにあっては、基本的にその表面の角度は問題とならず、各光伝達経路2, 3, 4との位置関係から、散乱光6b又は乱反射光の損失が少ない位置に、光散乱体10f又は乱反射体を設ければよい。

また、本発明における乱反射体としては、前述した正反射体と基本的に同様の構造のもので、反射面を粗面化したものを挙げるができる。粗面化は、伝達する光の波長を考慮して適宜好適な範囲とすればよく、粗面化の方

法としても通常の方法を適用すればよい。

また、本発明における光散乱体10dとしては、例えば、エポキシ系、アクリル系、シリコーン系等の透光性樹脂に、例えば、ジルコニア、若しくはチタニア等のセラミック粉末、酸化鉛等の金属酸化物粉末、又はそれらの混合粉末等を分散させたものが、発光効率、平坦性維持の点で望ましい。

また、この際の光散乱体10dとしては、透光性樹脂100質量部に対して、セラミック粉末、金属酸化物粉末、又はそれらの混合粉末を10～100質量部混合したものが好ましい。

また、光路変更部全体を光散乱体10fで構成する場合には、更に当該組成に平均粒径0.5～10 $\mu$ mのガラス粉末を、セラミック粉末100質量部に対して10～100質量部混合したものが好ましい。このような組成物からなる光散乱体10dとすると、光伝達部との接触性、離隔性を向上することができる。

次に、光導入部材9について説明する。

本発明においては、必ずしも光導入部材9を設ける必要はなく、例えば、図23(イ)(ロ)に示すような光路変更部8に光散乱体10f又は乱反射体(図示せず)を設けた光スイッチにあっては、光路変更部8を光散乱体10f又は乱反射体のみからなるものとし、この光散乱体10f又は乱反射体を直接光伝達部に接触させる構成とすることもできる。

但し、図1(イ)(ロ)に示すような光路変更部8に正反射体10dを設けた光スイッチにあっては、光導入機能と光路変更機能とを分化することで、光路変更部8と光伝達部1との接触性を最適化することができる点で、正反射体10d上に、透光性の材質からなる光導入部材9を設けることが好ましい。

また、図24に示すように、光路変更部8に光散乱体10f又は乱反射体(図示せず)を設けた光スイッチであっても、正反射体を設けた光スイッチと同様の点で、光散乱体10f又は乱反射体上に、透光性の材質からなる光導入部材9を有するものが好ましい。

なお、図24に示すように、光路変更部8に光散乱体10f又は乱反射体（図示せず）を設けた光スイッチでは、光伝達経路3から、光伝達部1の反射面1aに対して略垂直に光を入力した場合には、光路変更部を光伝達部に接触させた際に、入力された光21が、光伝達経路3を挟んで左右に分岐する光伝達経路29、4へ同時に伝達される。

光導入部材9の材質としては、光路変更部8が、光伝達部1に接触した際に、光伝達部1から光が取り出せ、かつ光伝達部1の光伝達経路4、5に戻るように、光伝達部1との屈折率の差が、光伝達部1と外気（通常は空気）との屈折率の差より小さな透光性のものが好ましく、光伝達部1と同程度の光の屈折率を有する透光性のものがより好ましい。また、このような材質とする材料としては、例えば、ガラス、石英、透光性プラスチック、透光性樹脂、透光性セラミックス等を挙げることができる。

但し、本発明では、光路変更部材10又は光導入部材9と、光伝達部1との間に、透光性の液体を介在させ、この透光性の液体により光導入部材9の全部又は一部を構成させることもできる。この場合、透光性の液体は、光路変更部材10又は光導入部材9と、光伝達部1との隙間を効果的に減ずることができるため、光路変更の制御を容易にすることができる。

透光性の液体としては、例えば、低蒸気圧の有機溶剤、油などを挙げることができ、この液体の屈折率と光伝達部1の屈折率との差、及びこの液体の屈折率と光導入部材9の屈折率との差を考慮して選択すればよい。

流動性を有する透光性の液体を光路変更部の上に保持させる方法としては、例えば、光路変更部8の上側外周部に、透光性の液体を保持する上で適当な高さの壁を設ける等の周知の技術を適用することができるが、光導入部材9に凹凸部又は多孔部を形成し、これに透光性の液体を含浸させて毛細管現象により透光性の液体を保持させる方法が好ましい。また、透光性の液体として揮発性の液体を用いる場合は、蒸発を防止するために、光路変更部8を光伝達部1との間で気密に封止する構造を採用することが好ましい。

他方、本発明における光導入部材9では、光導入部材9と光伝達部1の光

反射面1aとの接触する面積が、光路変更部材10に取出される光の量を規定するため、光伝達部1に対向する光導入部材の面9aが、光伝達部1の光反射面1aのうち、光伝達経路2に入力した光21が投射する面全体を含んでより広く設けられていることが好ましい。

また、光伝達部1の光反射面1aに対向する面9aは、光伝達部1との接触面積を確保するためにより平滑であることが望ましく、具体的には、平坦度が $1\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、平坦度が $0.5\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $0.1\mu\text{m}$ 以下であることが特に好ましい。但し、光導入部材9の、光伝達部1の光反射面1aに対向する面9aの平坦度は、光導入部材9が光伝達部1の光反射面1aに接触した状態での隙間を減ずるために重要なものであり、接触した状態で接触部分が変形するものであれば前述の平坦度に必ずしも限定されるものではない。もっとも、平坦度は、アクチュエータ部11の変位量に比較して十分に小さくすることが好ましい。

一方、光導入部材9の面9aの平坦度は、光伝達部1の光反射面1aに接触させた光導入部材9を離隔させる際に、その離隔動作を確実に行えるようにするためには、 $0.005\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましく、 $0.015\mu\text{m}$ 以上とすることがより好ましい。

尚、ここにいる平坦度とは、表面粗さとうねりの両方を含む意味である。

また、光導入部材9の厚さは、光の損失を小さくするために、 $50\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましく、 $20\mu\text{m}$ 以下とすることがより好ましい。

### 3. アクチュエータ部

本発明におけるアクチュエータ部11は、外部信号により変位し、この変位を前述した光路変更部8に伝達する機能を有するものであり、これにより、光路変更部8を光伝達部1に接触又は離隔させるという機械的動作によりスイッチングを行うことができる。

アクチュエータ部11としては、例えば、板バネ等の弾性体により変位を生じさせるものでもよいが、制御性、高速応答性に優れる点で、必要に応じ

て設けられる変位伝達部材12と、圧電／電歪素子14と、振動部材18と、固定部材19とを有するものが好ましい。以下、このタイプのアクチュエータ部11について各構成部材毎に詳細に説明する。

#### (1) 変位伝達部材

本発明における変位伝達部材12は、光路変更部8と圧電／電歪素子14との間に、必要に応じて配設されるものであり、圧電／電歪素子14の変位を光路変更部8に伝達し、この光路変更部8と光伝達部1との接触面積を所定の大きさにする目的で配設されるものである。特に、図1、5等を示す屈曲変位を発生させるタイプの圧電／電歪素子14を用いる場合には、圧電／電歪素子14内に分布している変位の大きさを平均化させ、光路変更部8の全面を均等に光伝達部1に接触又は離隔させる上で極めて効果的である。

変位伝達部材12としては、効果的に、圧電／電歪素子14の変位を光路変更部8に伝達することができるように、これら両者8、14と広い面積で接触できる構造が好ましい。

また、変位伝達部材12の材質としては、後述する圧電／電歪素子14の変位を、直接、光路変更部8に伝達することができる硬度を有するものが好ましく、このような材質の材料としては、例えば、ゴム、有機樹脂、有機接着フィルム、ガラス等を挙げることができる。中でも、エポキシ系、アクリル系、シリコーン系、ポリオレフィン系等の有機物質からなる有機樹脂、又は有機接着フィルムが好ましく、これら有機物質にガラス、セラミックス等からなるフィラーを混合して硬化収縮を抑制した有機樹脂、又は有機接着フィルムがより好ましい。

変位伝達部材12は、通常、後述する圧電／電歪素子14に積層することにより配設されるが、その積層方法としては、例えば、接着剤を用いて積層する方法；前述した変位伝達部材の材料を溶液、ペースト又はスラリーとして、圧電／電歪素子14にコーティングする方法；加熱により有機接着フィルムを接着する方法等を挙げることができるが、別途、接着剤が不要な点で、加熱により有機接着フィルムを接着する方法が好ましい。尚、圧電／電歪

素子14の変位を効率良く利用するには、概ね圧電／電歪素子14の形状と同一になるように変位伝達部材12の層を切断するか、あるいは切り欠きを設けることが好ましい。

また、光路変更部に正反射体を設けて光伝達経路を切り替える光スイッチでは、変位伝達部材12には、光路変更部材10の反射角度を所定の角度に維持する点から、図8に示すように、変位伝達部材12の上に、更に、板部材13を配設することが好ましい。

板部材13の材料としては、板部材13の平坦性を維持するため、エポキシ系、アクリル系、シリコン系等の有機樹脂に、アルミナ、ジルコニア、チタニア、ガラス又はこれら2種以上の混合物粉末等を分散させたものが好ましい。また、この際分散させる粉末の量は、有機樹脂100質量部に対して、10～100質量部含有させることが好ましい。

他方、変位伝達部材12は、必ずしも必要ではなく、図7に示すように、圧電／電歪素子14と光路変更部8との間に変位伝達部材を設けずに、圧電／電歪素子14の変位を、直接、光導入部材9に伝達するものであってもよい。

## (2) 圧電／電歪素子

本発明における圧電／電歪素子14は、圧電／電歪層15と、この圧電／電歪層15の少なくとも一部に配設される少なくとも1対の電極16、17とから構成されるものである。ここで、「圧電／電歪」とは、圧電及び／又は電歪の意味である。

圧電／電歪素子14は、電極16、17へ電圧を印加することにより変位を発生するものであるが、圧電／電歪素子14の変位を、そのまま光伝達部1方向への変位、振動として、光路変更部8に伝達できる点で、圧電／電歪層15の厚さ方向に変位が発現するものが好ましい。

また、圧電／電歪素子14は、一層の圧電／電歪層15を有する構造、又は二層、三層等の多層の圧電／電歪層15を有する構造とすることができる。また、多層の圧電／電歪層15を有する構造とする場合には、通常、各圧

電／電歪層 15 毎に一对の電極 16、17 をそれぞれ配置すればよいが、各圧電／電歪層 15 と各電極 16、17 とを交互に積層して構成するいわゆる積層圧電／電歪素子とすることもできる。

圧電／電歪層 15 の材料としては、圧電セラミックスが好ましいが、電歪セラミックス、強誘電体セラミックス、又は反強誘電体セラミックス等であってもよく、分極処理が必要な材料であっても必要がない材料であってもよい。また、セラミックスに限定されず、P V D F（ポリフッ化ビニリデン）等の高分子からなる圧電体、又はこれら高分子とセラミックスの複合体であってもよい。

具体的には、圧電セラミックス又は電歪セラミックスとして、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、アンチモンスズ酸鉛、マンガンタングステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛、チタン酸バリウム、チタン酸ナトリウムビスマス、チタン酸ビスマスネオジウム（BNT系）、ニオブ酸カリウムナトリウム、又はタンタル酸ストロンチウムビスマス等を単独、混合物あるいは固溶体として含有するセラミックスが挙げられる。

これらのセラミックスは、圧電／電歪体を構成するセラミックス成分中に 50 重量％以上を占める主成分であることが好ましい。特に、高い電気機械結合係数と圧電定数を有し、焼成工程を経ても安定した材料組成のものが得られ易い点において、ジルコン酸チタン酸鉛（PZT系）を主成分とする材料、マグネシウムニオブ酸鉛（PMN系）を主成分とする材料、ニッケルニオブ酸鉛（PNN系）を主成分とする材料、ジルコン酸鉛とチタン酸鉛とマグネシウムニオブ酸鉛の混合物若しくは固溶体を主成分とする材料、ジルコン酸鉛とチタン酸鉛とニッケルニオブ酸鉛の混合物若しくは固溶体を主成分とする材料、又はチタン酸ナトリウムビスマスを主成分とする材料が好適に用いられる。

本発明においては更に、上記材料に、ランタン、カルシウム、ストロンチウム、モリブデン、タングステン、バリウム、ニオブ、亜鉛、ニッケル、マ



ンガン、セリウム、カドミウム、クロム、コバルト、アンチモン、鉄、イットリウム、タンタル、リチウム、ビスマス、又はスズ等の酸化物等を、単独で又は混合したセラミックスを用いてもよい。例えば、主成分であるジルコン酸鉛とチタン酸鉛とマグネシウムニオブ酸鉛の混合物にランタンやストロンチウムを含有させることにより、抗電界や圧電特性を調整可能となる場合がある。

反強誘電体セラミックスとしては、ジルコン酸鉛を主成分とするセラミックス、ジルコン酸鉛とスズ酸鉛の混合物若しくは固溶体からなる成分を主成分とするセラミックス、ジルコン酸鉛を主成分とし酸化フタンを添加したセラミックス、又はジルコン酸鉛とスズ酸鉛の混合物若しくは固溶体を主成分とし、ニオブ酸鉛を添加したセラミックス等が挙げられる。

圧電／電歪層 15 の厚さは、 $5 \sim 100 \mu\text{m}$  が好ましく、 $5 \sim 50 \mu\text{m}$  がより好ましく、 $5 \sim 30 \mu\text{m}$  が特に好ましい。また、圧電／電歪層 15 は、緻密なものであっても、多孔質のものであってもよいが、多孔質のときは、気孔率が 10 % 以下であることが好ましい。

電極 16、17 としては、図 1、8 等に示すように、前述した圧電／電歪層 15 の光路変更部 8 側の面の少なくとも一部に第一の電極 16 が形成され、圧電／電歪層 15 の基体 20 側の面の少なくとも一部に第二の電極 17 が形成されているもの；図 9 に示すように、圧電／電歪層 15 の光路変更部 8 側又は基体 20 側のいずれかの面又は両方の面（図 9 では、光路変更部 8 側の面に形成した光スイッチを示す。）に第一、第二の電極 16、17 の両方が櫛形状に形成されているもの等を挙げることができる。

電極 16、17 の材料としては、一般には、室温で固体であって、導電性の金属が採用され、例えば、アルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ニオブ、モリブデン、ルテチウム、パラジウム、ロジウム、銀、スズ、タンタル、タンゲステン、イリジウム、白金、金、又は鉛等の金属単体又はこれら 2 種以上からなる合金を、1 種単独で又は 2 種以上を組合わせたものを用いることが好ましい。

また、これらの材料と、酸化アルミニウム、酸化ジルコニウム、酸化ケイ素、ガラス、若しくは圧電／電歪材料等との混合物又はサ-メットであつてもよい。

これらの材料の選定にあたっては、後述する圧電／電歪素子 14 の製造方法に応じて、第一の電極 16 と第二の電極 17 の材料を選択することが好ましい。

例えば、圧電／電歪層 15 を熱処理する前に形成される電極に対しては、その圧電／電歪層 15 を熱処理する際の高湿酸化雰囲気下で耐性を有する点で、白金、ロジウム、パラジウム等の白金族金属を含有することが好ましく、白金、ロジウム、パラジウム等の白金族金属、又はこれらの白金族金属を含有する、銀-白金、白金-パラジウム、白金-銀-パラジウム等の合金を主成分とする電極材料がより好ましい。一方、圧電／電歪層 15 を熱処理した後に形成される電極に対しては、例えば、アルミニウム、金、又は銀等の低融点金属を使用することができる。

また、図 9 に示すように、圧電／電歪層 15 の光路変更部 8 側又は基体 20 側のいずれかの面に第一の電極 16 及び第二の電極 17 が形成されている圧電／電歪素子 14 の場合には、第一の電極 16 及び第二の電極 17 とともに同じ材料で形成することが好ましい。

尚、電極 16、17 は、用途に応じて適宜な厚さとすればよいが、0.1 ~ 50  $\mu\text{m}$  の厚さであることが好ましい。

振動部材 18 上に、圧電／電歪素子 14 を形成する方法としては、①金型を用いたプレス成形法又はスラリー原料を用いたテープ成形法等によって圧電／電歪層 15 の前駆体を成形し、この圧電／電歪層 15 の前駆体を焼成する前に、予め、膜形成法により電極 16、17 を形成した後、焼成する前の振動部材 18 に熱圧着で積層し、同時に焼成する方法；②金型を用いたプレス成形法又はスラリー原料を用いたテープ成形法等によって圧電／電歪層 15 の前駆体を成形し、この圧電／電歪層 15 の前駆体を焼成する前に、予め、膜形成法により電極 16、17 を形成し、その後、焼成して電極 16、1

7が形成された圧電／電歪素子14を準備し、この焼成後の圧電／電歪素子14を、振動部材18と固定部材19を焼成により一体化した基体20へ接着する方法；③膜形成法により、焼成した振動部材18に第二の電極17、圧電／電歪層15、及び第一の電極16をこの順に形成し、全ての層17、15、16を形成した後同時に焼成、又は各層17、15、16の形成の都度焼成する方法等を挙げることができ、中でも、③の方法が好ましい

なお、ここでいう「前駆体」とは、圧電／電歪層15を構成する材料を主成分とし、熱処理又は焼成により圧電／電歪体となるものである。また、後述する電極等の前駆体についても、同様に、熱処理等により電極等となるものを意味する。

膜形成方法としては、例えば、スクリーン印刷、ディッピング、電気泳動、スプレー、若しくは塗布等の厚膜法；又はイオンビーム、スパッタリング、真空蒸着、イオンプレーティング、化学気相堆積法（CVD）、若しくはメッキ等の薄膜法等を挙げることができ、中でも、スクリーン印刷等の厚膜法が好ましい。

スクリーン印刷等の厚膜法は、電極に通じるリード及び端子パッドを同時に形成できることに加え、セラミック粒子を主成分とするペーストやスフリーを用いて、圧電／電歪層15を形成することができるとともに、良好な圧電特性を得ることができる。また、無機系又は有機系の接着剤を用いることなく、圧電／電歪素子14と振動部材18とを一体的に接合することができるため、信頼性、再現性に優れるとともに、集積化し易いという利点をも有する。

また、膜形成方法により、所望形状のパターンを形成する場合には、スクリーン印刷法、フォトリソグラフィ法等によって、所定パターン形成してもよく、レーザー加工法、スライシング、超音波加工等の機械加工法を用い、不必要な部分を除去してパターン形成してもよいが、工業的観点からは、スクリーン印刷法が好ましい。尚、電極16、17の形成は、図8に示すように、スルーホール46を通じて形成する方法でもよい。

また、作成される圧電／電歪層 15、第一の電極 16 及び第二の電極 17 の形状は、用途に応じて如何なる形状を採用してもよく、例えば、三角形、四角形等の多角形、円、楕円、円環等の曲線形状、櫛形状、格子状又はこれらを組合わせた特殊形状等を挙げることができる。

また、基体 20 上に形成された圧電／電至層 15、第一の電極 16 及び第二の電極 17 は、前述したように、各層 17、15、16 の形成の都度、熱処理して、基体 20 と一体構造となるようにしてもよく、又は、全ての層 17、15、16 を形成した後、これらの層 17、15、16 を同時に熱処理して、基体 20 に一体化させてもよい。もっとも、薄膜法により第一の電極 16 又は第二の電極 17 を形成する場合には、これらの電極を一体化するために必ずしも熱処理を必要とするものではない。

次に、本発明の圧電／電歪素子 14 の変形例として、いわゆる積層圧電／電歪素子について説明する。

図10 (イ) (ロ) に示すように、この江電／電歪素子34は、陽極として機能する複数の層が連結している形態の陽極層22と、陰極として機能する複数の層が連結している形態の陰極層23とが、圧電／電歪層21を挟んで交互に積層されたものである。

この圧電／電歪素子 34 は、一般に、積層方向である Y 方向と、積層方向と垂直方向である X 方向の変位が利用可能である。但し、図 10 (イ) に示すように、積層方向である Y 方向の変位を主に利用する場合には、圧電／電歪素子 34 は、積層方向と垂直方向である X 方向より、積層方向である Y 方向が長い形状とすることが好ましい。変位方向 Z が、積層方向である Y 方向の場合には、変位量は、各圧電／電歪層 24 の厚み方向での変位量の合計と

なるからである。

一方、図10（ロ）に示すように、積層方向と垂直方向であるX方向の変位を主に利用する場合には、圧電／電歪素子34は、積層方向であるY方向より、積層方向と垂直方向であるX方向が長い形状とすることが好ましい。変位方向ZがX方向の場合には、変位量は、各圧電体層21のX方向の長さに比例した変位量となるからである。

また、変位方向Zと異なる方向、即ち、図10（イ）に示す圧電／電歪素子34ではX方向、図10（ロ）に示す圧電／電歪素子34ではY方向の寸法が大きいと、その方向の歪の応力が大きくなり、主変位（変位方向Zへの変位）の発現に影響を与えることにもなる。

このような積層圧電／電歪素子34の製造方法としては、例えば、以下のような方法を挙げることができる。

図11に示すように、まず、前述したプレス成形法又はスラリー原料を用いたテープ成形法等によって、圧電／電歪層の前駆体25を成形し、得られた圧電／電歪層の前駆体25に、スクリーン印刷法等の膜形成法により、それぞれ所定パターンの電極層の前駆体27、28が形成された複合前駆体255、256をそれぞれ作製する。

次いで、これら複合前駆体255、256を交互に積層、圧着し、所定数の各層を有する積層体26を得、この積層体26を焼成する。

その後、得られた積層体26の焼成体に対し切断加工を行い、各電極層22、23を、それぞれ積層方向と平行に位置し、相互に対向する二面のいずれか一方にのみ露出させる。

次いで、各電極層22、23がそれぞれ露出する各面に、前述したスクリーン印刷法等の膜形成法により、連結層22a、23aをそれぞれ形成後、焼成して、各電極層22、23を、陽極として機能する電極層22毎、及び陰極として機能する電極層23毎でそれぞれ連結することにより、積層圧電／電歪素子34を作成することができる。

このようにして得られた積層圧電／電歪素子34は、更に、一定間隔で、

共通の固定部材 19 となる部分を残すようにして、積層方向に切削することが好ましい。これにより、同一の固定部材 19 上に複数の積層圧電／電歪素子 34 を容易に作成することができる。また、このような積層圧電／電歪素子 34 では、固定部材 19 を共用化できるとともに、振動部材 18 を必ずしも必要としないため、スイッチ部品点数の削減を図ることができる。

尚、このような方法で複数の積層圧電／電歪素子 34 を形成する場合には、連結層 22a、23a の少なくとも一方は、各素子毎に分離して形成することが好ましい。

このような積層圧電／電歪素子 34 においても、積層体 26 の形成は、プレス成形法、テープ成形法等に代え、スクリーン印刷法により行ってもよい。

また、圧電／電歪素子 34 の一部を構成する電極層 22、23 は、圧電／電歪層 24 の焼成と同時に又は同程度の温度で熱処理された場合の高温酸化雰囲気、特に耐性を有する金属であることが好ましく、これら電極層 22、23 を露出させる切断工程は、焼成前の積層体 26 に対して行ってもよい。

更に、積層体の 26 の焼成後に形成される連結層 22a、23a は、電極層 22、23 と異なる材料で形成してもよい。以上の事項以外については、通常の圧電／電歪素子で述べたところと同様であり、ここではその説明を省略する。

### (3) 振動部材、固定部材

本発明における振動部材 18 は、圧電／電歪素子 14 の少なくとも一部に接して圧電／電歪素子 14 を支持し、圧電／電歪層の歪みを屈曲変位又は振動に変換するものである。

振動部材 18 は、光伝達部 1 の方向に振動し易い形状という点で、板形状であることが好ましく、この場合、振動部材 18 の厚さは、前述した圧電／電歪層 15 の厚さと同じ次元であることが好ましい。これにより、圧電／電歪層 15 の焼成収縮に対して、振動部材 18 が追従し易くなるため、圧電／

電歪層 15 又は電極層 16、17 と、振動部材 18 との界面で応力が減少し、容易に一体化することができる。

具体的には、1~100  $\mu\text{m}$  の厚さであることが好ましく、3~50  $\mu\text{m}$  の厚さであることがより好ましく、5~20  $\mu\text{m}$  の厚さであることが特に好ましい。また、圧電／電歪層 15 との厚さの比（振動部材：圧電／電歪層）が、1:0.5~1:10 であることが好ましく、1:1~1:5 であることがより好ましい。

振動部材 18 は、経時的な変質、及び耐熱性、耐候性を考慮して、圧電／電歪素子 14 を、無機系又は有機系の接着剤等の材料を介することなく、直接支持することが好ましい。

振動部材 18 を構成する材料としては、圧電／電歪層 15 の形成時等に振動部材 18 が変質しないように、高耐熱性材料であることが好ましい。また、振動部材 18 に直接支持される圧電／電歪素子 14 の電極 16、17 及びこれらに接続されるリード、リード端子等を振動部材 18 の表面に形成する際に、電極 16、17 等の電気的な分離を確保するために、電気絶縁材料からなることが好ましい。

具体的には、高耐熱性の金属又はその金属表面をガラス等のセラミックスで被覆した琺瑯等からなるもの、セラミックスからなるもの等が採用でき、中でも、セラミックスからなるものが好ましい。

振動部材 18 を構成するセラミックスとしては、例えば、安定化酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、ムライト、窒化アルミニウム、窒化珪素、ガラス等を挙げることができ、中でも、安定化された酸化ジルコニウムが、機械強度が高いこと、靱性が高いこと、圧電／電歪層及び電極と化学反応性が小さいこと等の点で好ましく、更に、0.1~5 重量％の酸化アルミニウムを含有することがより好ましい。

ここで、安定化酸化ジルコニウムとは、安定化酸化ジルコニウム及び部分安定化酸化ジルコニウムを包含するものであり、立方晶等の結晶構造をとるので相転移を起こさない点で、1000℃前後で、単斜晶と正方晶とで相転

移し、この相転移のときクラックが発生する場合がある酸化ジルコニウムと区別される。

安定化酸化ジルコニウムとしては、酸化カルシウム、酸化マグネシウム、酸化イットリウム、酸化スカンジウム、酸化イッテルビウム、酸化セリウム又は希土類金属の酸化物等の安定化剤を、1～30モル%含有するものを挙げるができるが、振動部材の機械強度を高めるためには、酸化イットリウムを1.5～6モル%含有するものが好ましく、2～4モル%含有するものがより好ましい。

また、振動部材18を構成するセラミックスの結晶相は、立方晶+単斜晶の混合相、正方晶+単斜晶の混合相、又は立方晶+正方晶+単斜晶の混合相等であってもよいが、中でも、主たる結晶相が、正方晶、又は正方晶+立方晶の混合相としたものが、強度、靱性、耐久性の点で好ましい。

振動部材18がセラミックスからなるときには、多数の結晶粒が振動部材18を構成するが、この結晶粒の平均粒径は、振動部材18の機械強度を高めるため、0.05～2 $\mu$ mが好ましく、0.1～1 $\mu$ mがより好ましい。

次に、固定部材19について説明する。本発明における固定部材19は、振動部材18が振動できるように、振動部材18の少なくとも一部を固定するものである。

固定部材19は、セラミックスからなることが好ましいが、振動部材18の材料と同一のセラミックスでも、異なるセラミックスでもよい。

具体的には、例えば、安定化された酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化チタン、ムライト、スピネル、窒化アルミニウム、窒化珪素、又はガラス等のセラミックスが好ましく、中でも、酸化ジルコニウムを主成分とするセラミックス、酸化アルミニウムを主成分とするセラミックス、又はこれらの混合物を主成分とするセラミックスがより好ましい。

尚、振動部材18又は固定部材19をセラミックスにより構成する際には、焼成助剤として、いわゆる粘土等を加えることがあるが、圧電/電歪素子



14を焼成により、直接、振動部材18上に形成する場合には、そのセラミックス中に酸化珪素、酸化硼素等のガラス化し易い成分が過剰に含まれないように調整することが好ましい。ガラス化し易い成分を過剰に含むと、圧電／電歪素子14と接合する上では有利であるが、焼成中の振動部材18と圧電／電歪層との反応を促進して所定の圧電／電歪層の組成を維持することが困難となるため、素子特性を低下させる原因となることがある。具体的には、基体中の酸化珪素、酸化硼素等のガラス化し易い物質の含有率が、3重量％以下となるように調整することが好ましく、1重量％以下となるように調整することがより好ましい。

振動部材18及び固定部材19は、一体となってセラミックスからなる基体20を構成していることが好ましく、更に、振動部材18を薄肉構造として図1等を示す凹部20a又は図2等を示す空所20b（以下、説明の都合上「凹部20a等」ということがある。）を形成することが好ましい。但し、振動部材18と固定部材19とは、必ずしも一体となって構成される必要はなく、例えば、ステンレス鋼、鉄等の金属からなる固定部材19が、セラミックスである振動部材18を固定するものであってもよい。この場合、振動部材18の表面をメタライズし、得られるメタライズ層を金属である固定部材19にろうづけして接続する方法等を用いることができる。

また、図10に示すように、基体として振動部材を有さないような光スイッチでは、基体を、圧電／電歪層と成分が同等なもので構成することが好ましく、成分及び組成ともに同一な材料であることがより好ましい。このような材料で基体を構成すれば、熱処理又は焼成により圧電／電歪層と一体化が容易となる。

基体20に形成される凹部20a等の形状については特に制限はなく、例えば、円形、楕円形、若しくは、正方形、長方形等の多角形、又は、これらの形状を組合わせた複合形状であってもよい。但し、多角形の形状のとき、コーナーが丸みを帯びるように縁どりされていることが好ましい。

また、凹部20a等として構成される場合のその厚み（高さ）は特に制限

振動部材 18 を薄肉構造として凹部 20 a 等を形成する方法としては、例えば、2 枚のグリーンシート又はグリーンテープを積層する際に、第二層に、凹部 20 a 等となる所定形状の貫通孔を積層前に予め設けておく方法；成形型を用いる加圧成形、鑄込み成形、出力成形等によって得た成形体に、切

削研削加工、レーザー加工、プレス加工による打ち抜き等の機械加工により、凹部20a等を設ける方法等を挙げることができる。

また、本発明の光スイッチにおいては、図12に示すように、基体20に、隙間形成部材45を配設して、光伝達部1と光路変更部8との距離を保ちながら、光伝達部1と基体20とを固定することが好ましい。この際、図12に示すように、隙間形成部材45は、圧電/電歪素子14を配設する領域を除く基体20の全面に形成してもよいが、光伝達部1と光路変更部8との距離を均一にすることができる点で、パターン化して形成することが好ましい。

尚、本発明における光スイッチは、以上のようなアクチュエータ部11の個の変位により、一個の光路変更部8を、光伝達部1と接触又は離隔させるものでもよいが、複数のアクチュエータ部11の変位により、一個の光路変更部8を、光伝達部1と接触又は離隔させるものであってもよい。

#### 4. 多チャンネル光スイッチ

本発明における多チャンネル光スイッチは、前述した光スイッチ、即ち、少なくとも、光伝達部と、光路変更部と、アクチュエータ部とを有する光スイッチを複数個備える多チャンネル光スイッチであって、光伝達部は、少なくとも該光路変更部に対向する面の一部に設けられる、光を全反射する光反射面、及びこの光反射面を起点に、少なくとも3方向に向けて設けられる、光導液体からなる光伝達経路を有してなり、光路変更部は、光伝達部の光反射面に移動可能な状態で近接され、少なくとも光を反射又は散乱する光路変更部材を有してなり、アクチュエータ部は、外部信号により変位し、変位を光路変更部に伝達する機構を有してなり、外部信号に応じたアクチュエータ部の変位により、該光路変更部を該光伝達部の該光反射面に接触又は離隔させ、光路変更部が、光伝達部の光反射面から離隔した際に、光伝達経路に入力した光を、光伝達部の光反射面で全反射させて出力側の特定の光伝達経路に伝達し、光路変更部が、光伝達部の該光反射面に接触した際に、光伝達経

路に入力した光を取り出して、光路変更部で反射又は散乱させて、出力側の1又は2以上の特定の光伝達経路に伝達し、光路の切り替え又は分岐を行う光スイッチを複数個備えるものである。

本発明における多チャンネル光スイッチの各構成要素については、既に光スイッチのところで述べたものと同様である。従って、ここでは、各構成要素についての説明は省略し、多チャンネル化するための具体的な態様を示すこととする。

尚、本明細書中「多チャンネル」とは、前述した光伝達部の光反射面と光路変更部の光反射部材とにより光路の切り替え、又は分岐を行って光のスイッチングを行う箇所を複数有するという意味であり、ここでいう「多チャンネル光スイッチ」は、前述した各構成要素を、各光スイッチ間で共用化したものも含まれる。

本発明における一の実施形態としては、図12に示すように、例えば、図1～3に示すような光スイッチを、複数並列に配設して、一の入力側光伝達経路2に入力された光を、任意に光路を切り替えて、二以上の出力側光伝達経路4、5へ伝達する光のスイッチング、又は二以上の入力側光伝達経路2、3に入力された各々の光を、それぞれ任意に光路を切り替えて、一の出力側光伝達経路4へ伝達する光のスイッチングを行う多チャンネル光スイッチを挙げることができる。このような多チャンネル光スイッチでは、簡単な構造で、容易に多チャンネル化することができるという利点がある。

尚、入力側、出力側というのは単に光の進行方向に対して区別されるものであるので、同じ構成でも、進行方向を逆転することにより、入出力の呼び方も変わることになる。

本発明における他の実施形態としては、図13に示すように、複数の光スイッチにおける各光伝達経路2a～2c、4a～4c、5a～5cを、単一の光伝達部1に形成してなる多チャンネル光スイッチを挙げることができる。このような多チャンネル光スイッチでは、光伝達経路2a～2c、4a～4c、5a～5cを互いに近接して配置することができる点で、各光伝達経

路 2 a ~ 2 c、4 a ~ 4 c、5 a ~ 5 c を光導波路で形成することが好ましい。また、複数の光スイッチにおける各光伝達経路を、相互に交差させて、各光伝達経路 2 a ~ 2 c、4 a ~ 4 c、5 a ~ 5 c の一部を共用化することにより光スイッチの高小型化、集積化を図ることができる。

更に、本発明における他の実施形態としては、図 14、15 に示すように、複数の光スイッチ 51 が、一の入力側経路 2 a ~ 2 c と、複数の出力側経路 4 a ~ 4 c、5 a ~ 5 c とを有する複数の光スイッチから構成され、かつ隣接する光スイッチ 51 間で、一の出力側光伝達経路 4 a、4 b、4 c と、一の入力側光伝達経路 2 a、2 b、2 c とをそれぞれ連結してなり、一的光スイッチにおける入力端部から入力された光を、一の光スイッチを含む複数の光スイッチの各光路変更部でスイッチングを行う多チャンネル光スイッチを挙げることができる。

但し、図 14 に示す多チャンネル光スイッチでは、光伝達経路 2 a、2 b、2 c、4 a、4 b、4 c は、光導波路で形成されており、光伝達において信号のロスが少ないという利点を有する。これに対して、図 15 に示す多チャンネル光スイッチでは、光伝達部全体が同一材料の光導波体（光導波路を除く）により構成され、実質的な意味において特定の光伝達経路 2 a ~ 2 c、4 a ~ 4 c、5 a ~ 5 c が形成されているものであり、設計が容易であるという利点を有する。

これらの多チャンネル光スイッチでは、入力端部 43 から入力された光は、複数の光スイッチの各光路変更部 8 a、8 b、8 c（図 1 b では図示せず）で光路が切り替えられ、出力端部 44 a、44 b、44 c から出射され、外部の光伝達経路へ伝達される。

更に、本発明における他の実施形態としては、図 16 に示すように、複数の光スイッチ 51 が、隣接する光スイッチ 51 間で、一の出力側光伝達経路 4 a、4 b と、一の入力側光伝達経路 2 b、2 c とを、それぞれ光ファイバ 6 により連結してなり、少なくとも一の光スイッチにおける入力端部から入力された光を、複数の光スイッチの光路変更部でスイッチングを行う多チ

チャンネル光スイッチを挙げることができる。

この多チャンネル光スイッチによれば、図15に示す多チャンネル光スイッチと同様に、光伝達部全体を、同一材料の光導波体（光導波路を除く）により一体的に構成することができるため、設計が容易であるとともに、光ファイバーを介在させて光伝達を行うため、図15に示す多チャンネル光スイッチに比べ、光の発散を抑制することができるという利点を有する。

尚、この多チャンネル光スイッチでは、各光スイッチ51の光伝達部1を一体にして形成することが設計を容易にする点では好ましいが、各光スイッチ51の光伝達部1をそれぞれ独立して形成したものであってもよい。

更に、本発明における他の実施形態としては、図17に示すように、前述した図14～16に示す多チャンネル光スイッチ複数個を並列に配設した多チャンネル光スイッチを挙げることができる。

この多チャンネル光スイッチによれば、容易に複数の光信号入力端部及び／又は光信号出力端部を設けることができるため、大規模な多チャンネル光スイッチを容易に製造することができるとともに、構造がシンプルなため、小型化も容易であるという利点を有する。

更に、本発明における他の実施形態としては、図18、25に示すように、前述した図14～16に示す多チャンネル光スイッチにおける各光伝達経路の出力端部44a、44b、44cに、光結合器36a、36b、36cを結合して、光伝達経路（図示せず）の少なくとも一部を集束した多チャンネル光スイッチを挙げることができる。このような多チャンネル光スイッチでは、出力端部44a、44b、44cを共有化することができるため、任意の入力光信号を選択して、任意の信号経路へ光を切り替えられる利点を有する。

また、本発明においては、このような出力端部44a、44b、44c等へ光結合器36a～36cを結合する構成に代え、入力端部43に光分岐器（図示せず。また、入力端部43に接続すれば、36a等と同構成のものが光分岐器となる。）を結合する構成とすることもでき、このような構成によ

り、同じ光信号を、任意の出力先に分岐伝達する光スイッチとすることができ、また、光結合器36a~36c又は光分岐器としては、図18に示すように、一のポイントで光伝達経路を集束するもの、図25に示すように、基幹となる光伝達経路38a~38cに、複数のポイントで、各光結合経路37a~37c等が、基幹光伝達経路38a~38cの光進行方向に対して斜め方向で結合しているものいずれでもよい。もっとも、図26に示すように、図25に示した多チャンネル光スイッチでは、各基幹光伝達経路38a~38cに対応した溝を設けた基板39を、各基幹光伝達経路38a~38cに当該溝を対応させて配設することが好ましい。このような基板39の配設により、所定ピッチで精度よく複数の光伝達経路を配設することができるため、各多チャンネル光スイッチ間又は光源と多チャンネル光スイッチ間の結合が容易となる。

また、本発明においては、入力端部43又は出力端部44に光分波器又は光合波器を結合する構成とすることもでき、このような構成により、波長の異なる複数の光信号を分波又は合波し、各光信号を任意の経路に伝達する光スイッチとすることができる。

更に、本発明における他の実施形態としては、図19に示すように、前述した図14~16に示す多チャンネル光スイッチ41を複数個備え、各多チャンネル光スイッチ41における各出力端部44a、44b、44cの少なくとも一部を、各多チャンネル光スイッチ41とは別体として配設される、外部光伝達経路53の入力端部を中心に円弧状に位置させて、各多チャンネル光スイッチ41を配設する多チャンネル光スイッチを挙げることができる。

この多チャンネル光スイッチでも、前述した図18に示す多チャンネル光スイッチと同様に、異なる複数の多チャンネル光スイッチの各出力端部から出力される光を共通の光伝達経路に伝達することができるものであるが、特に、物理的干渉による光伝達経路の結合を必要としないため、結合部分での信号のロスが生じないか、極めて小さくできる利点を有する。

この多チャンネル光スイッチでは、各多チャンネル光スイッチ41を、目的、用途に応じて種々の位置に配設すればよく、例えば、図19に示すように、各多チャンネル光スイッチにおける各出力端部のうち、同じ位置に設けられる各出力端部同士44a、44b、44cそれぞれを、外部光伝達経路53の入力端部を中心に円弧状に位置させることができる。また、例えば、各出力端部のうちの各出力端部同士44aのみを、外部光伝達経路53の入力端部を中心に円弧状に位置させることもできる。

また、この多チャンネル光スイッチでは、図19に示すように、各出力端部44a、44b、44cから出射した光の発散を抑制するために、各出力端部44a、44b、44cに、レンズ7を配設することが好ましく、更に、外部光伝達経路53の入力端部についても、適用する外部光伝達経路53に応じて、レンズ7を配設することが好ましい。

更に、本発明における他の実施形態としては、図20又は図27に示すように、前述した図14～16に示す多チャンネル光スイッチ41複数個の各出力端部44と、他の同様の多チャンネル光スイッチ42における複数の入力端部43a、43b、43cとを連結してなる多チャンネル光スイッチを挙げることができる。

この多チャンネル光スイッチも、前述した図18、19の多チャンネル光スイッチと同様に、異なる複数の多チャンネル光スイッチの各出力端部から出力される光を共通の光伝達経路に伝達するものであるが、各多チャンネル光スイッチの各光信号入力端部又は光信号出力端部を直接連結して、光伝達経路を構成するので、図18及び図19に示す多チャンネル光スイッチと比較して小型化が容易である等の利点を有する。

各多チャンネル光スイッチの各光信号入力端部又は光信号出力端部を直接連結する手段としては、図20に示すように、光ファイバー46等が光の損失が少ない点で好ましいが、図27に示すように、球レンズ47であってもよい。もっとも、この球レンズ47で連結する場合には、当該球レンズ47への入射角及びレンズの屈折率を調整することが必要となる。また、原理上



、光の損失が比較的大きいため、光アンプ等を付設して増幅することが好ましい。

本発明における更に他の実施形態としては、図28に示すように、前述した図14～16に示す多チャンネル光スイッチ41複数個と、基体48a中の溝に複数の光導波路49a～49fを設けた光導波路基板48とを備え、各多チャンネル光スイッチ41の各出力端部（図示せず）と、光導波路基板48の各光導波路49a～49fとを連結してなる多チャンネル光スイッチを挙げることができる。

この多チャンネル光スイッチでは、光導波路基板48における溝の深さ又は幅を調整することで、光導波路の開口面積が大きくとれるので、レーザー、LED等の信号源（光源）又はファイバーと、容易に結合することができる。但し、結合が容易となる反面、入射角度が多様となるため、光の損失が比較的大きい。従って、長距離通信等への用途では、光アンプ等を付設することが好ましい。

光導波路基板48としては、例えば、基体48aに所定ピッチで設けた比較的深度のある溝を形成した基体48a本体を、クラッドとして構成し、その溝に透光性樹脂等により光導波路コア50bを形成したものでよいが、予め、溝の表面に、光導波路コアの材料より屈折率の僅かに小さい材料からなるクラッド層を形成しておき、透光性樹脂等によりなる光導波路コアを独立した状態で当該溝に配設することも好ましい。このような構成とすることにより、樹脂、金属、ガラス、セラミックス等種々の材料を基体及び／又は光導波路クラッド材料として使用することができる。また、このような構成では、光の損失が小さくなるように、基体の材料は、クラッドよりも屈折率が大きいことが好ましいのは言うまでもない。また、多チャンネル光スイッチ41と光導波路基板48との結合は、前述した光ファイバ、球レンズ等他、直接、接触させてもよい。

本発明における更に他の実施形態としては、図21に示すように、複数の光スイッチ51が、複数の入力側経路2a～2c、3a～3cを有する少な

くとも一以上の光スイッチ51と、複数の出力側経路4a~4c、5a~5cを有する少なくとも一以上の光スイッチ52とにより構成され、かつ隣接する光スイッチ51間で、一の出力側光伝達経路4a~4cと、一の入力側光伝達経路2a~2cとを連結してなり、複数の光スイッチ51の入力端部43a~43dから入力された光を、複数の光スイッチ51の光路変更部8a~8fでスイッチングを行う多チャンネル光スイッチを挙げることができる。

図21に示すように、この多チャンネル光スイッチでは、光路変更部8a~8fの各々が、各光路変更部8a~8f間で少なくとも2種以上の光反射角度（図21では、光路変更部8a~8fのうち、8a~8cと8d~8fの光反射面を、相互に線対称の位置となる光反射角度（例えば、30°と150°の関係が該当する）を示す。）の光反射部材を有しており、例えば、光路変更部8a、8b、8cを光伝達部1から隔離した状態では、入力端部43aから入力した光が、光路変更部8d~8fへ向かう光伝達経路を進み、光伝達部1に接触した光路変更部8dで、出力端部44aに向かう光伝達経路5dへ光路が切り替えられ、出力端部44aから外部の光伝達経路へ伝達される。他方、例えば、光路変更部8aの光伝達部1への接触した状態では、入力端部43bから入力した光が、光路変更部8bへ向かう光伝達経路4aへ光路を切り替えられて光路変更部8d~8fへ向かう光伝達経路を進み、同様に光伝達部1に接触した光路変更部8d~8fのいずれかで、その光路変更部8d~8fに対応した出力端部44a~44dのいずれかに向かう光伝達経路5d~5fへ光路が切り替えられ、出力端部44a~44dのいずれかから外部の光伝達経路へ伝達される。

このように、この多チャンネル光スイッチでは、一の光伝達部1において、複数の入力端部43a~43dに入力されたそれぞれの光が、複数の光路変更部の作動状態によって任意の一つの出力端部44a~44dへ伝達されるM×N型の光スイッチを実現することができるため、小型化、高集積化を図る上で極めて有利であるという利点を有する。但し、図17~19に示

した多チャンネル光スイッチでは、各入力端部43から光信号を入力してそれぞれの光信号を並列に処理することができるのに対して、この多チャンネル光スイッチでは、各光入力端部43（43a～43d）への光信号の入力は多少の時間差が必要となる。

本発明における更に他の実施形態としては、図29に示すように、少なくとも光路変更部8に光散乱体10fを設けた光スイッチ51を一以上含む複数の光スイッチ51で構成され、隣接する各光スイッチ51間で、一の出力側光伝達経路4a、4bと、一の入力側光伝達経路2b、2cとを、それぞれ光アンプ54を介在させて光ファイバー6により連結してなり、少なくとも一の光スイッチにおける入力端部から入力された光を、一以上の光スイッチの光路変更部で多数の光伝達経路へ分岐してのスイッチングを行う多チャンネル光スイッチを挙げることができる。

この多チャンネル光スイッチでは、光伝達経路2aから入力された光21は、光路変更部8が離隔状態の光スイッチでは、そのまま光伝達部1の反射面1aで全反射され、光伝達経路4aへ、さらには光伝達経路2bへと伝達される。一方、光路変更部8が接触状態の光スイッチのところでは、光伝達経路2bから導入された光が、光路変更部に取り出されて光散乱体10fにより散乱され、光伝達経路4b、5bに分岐される。この際、分岐された光は、分岐により減衰しているが、その先の伝達経路へ伝達される際、光アンプで増幅され、減衰分が補われ、複数の光スイッチを経由しても光信号が殆ど減衰することなく伝達される。なお、光アンプとしては、半導体レーザーダイオード型やファイバー型等を挙げることができる。

以上、主に光通信を意図して本発明の多チャンネル光スイッチを説明してきたが、更に、光通信以外の応用例として、光プリンタへの応用について説明する。

図22は、本発明の多チャンネル光スイッチを光プリンタへ応用した実施形態を模式的に示す説明図である。

図22に示すように、この光プリンタは、前述した多チャンネル光スイッチ41をプリンタヘッド61として適用し、この多チャンネル光スイッチ41からなるプリンタヘッド61と、多チャンネル光スイッチ41の各出力端部44の出力方向に位置して配設され、各出力端部44から出力される光21を集光するレンズ63と、このレンズ63により集光された光21により潜像を形成する感光ドラム62とを基本要素として備えるものである。

このような光プリンタでは、実質上アレイ状にレーザー光源を配置した構成とすることができるため、従来のレーザープリンタのように、ポリゴンミラー及びこれに付随するレンズ等の光学系部品を省略することができ、大幅な小型化と、部品点数の削減による低コスト化を図ることができる。

また、この光プリンタは、LEDプリンタのように、各光源を、所望の各ドット毎に配設して、各光源から出力された光により潜像を形成するものではなく、同一光源からの光を、スイッチングにより各ドット毎に対応して設けられる各出力端部毎に切り換え、各出力端部から出力された光により潜像を形成するものである。従って、各ドット毎の光量ムラがないとともに、長時間使用した際の昇温に起因するいわゆる光量ダウンといった問題も生じない。

更には、この光プリンタでは、プリンタヘッド61を構成する多チャンネル光スイッチ41の各出力端部44を設ける間隔を適宜調整することで所望の解像度の光プリンタとすることができるため、容易に高解像度化に対応することができる。

以上、本発明を幾つかの実施形態に基づいて、具体的に説明してきたが、本発明は、これら実施形態に何等限定されて解釈されるべきものではなく、本発明の範囲を逸脱しない限りにおいて、当業者の知識に基づいて、種々なる変更、修正、改良等を加えうるものである。

#### 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明によれば、従来の光スイッチの問題を解決し

、消費電力が小さく、かつ高速応答が可能であるとともに、小型化、高集積化が可能で、かつ信号の減衰を高度に低減することができ、更には、入力した特定の光毎にスイッチングを行うことができる、光通信システム、光記憶装置、光演算装置、光記録装置、光プリンタ等に適した光スイッチを提供することができる。



／電歪素子の変位を光路変更部に伝達する変位伝達部材と

を有する請求の範囲第1項に記載の光スイッチ。

3. 該振動部材と該固定部材とを焼成一体化してセラミックス基体を構成し、かつ該振動部材を薄肉構造として、該セラミックス基体に、凹部若しくは空所を形成した請求の範囲第2項に記載の光スイッチ。

4. 該圧電／電歪素子が、陽極として機能する複数の層を連結してなる陽極層と、陰極として機能する複数の層が連結してなる陰極層とが、セラミックスからなる圧電／電歪層を挟んで交互に積層された積層体からなる請求の範囲第2項に記載の光スイッチ。

5. 該光伝達部が、光の屈折率が異なる2以上の層からなる請求の範囲第1項に記載の光スイッチ。

6. 該光伝達部の該光伝達経路が、光導波路により構成される請求の範囲第1項に記載の光スイッチ。

7. 該光伝達部が、一の光導波体に、該光伝達部の該光反射面を起点に少なくとも3方向に光伝達経路が形成されるように、少なくとも2以上の光導波体を結合して構成される請求の範囲第1項に記載の光スイッチ。

8. 該光伝達部の複数の光信号入力端部及び／又は光信号出力端部に、それぞれ集光レンズ又はコリメータレンズを配設し、光信号を該集光レンズ又は該コリメータレンズを介して入出力する請求の範囲第1項に記載の光スイッチ。

9. 該光路変更部が、透光性の材質からなる光導入部材を有してなる請求の範囲第1項に記載の光スイッチ。

10. 該光路変更部が、光を正反射する光反射体を有する請求の範囲第1項に記載の光スイッチ。

11. 該光を正反射する光反射体が、該光導入部材の該変位伝達部材側の面に一体的に形成される光反射膜である請求の範囲第10項に記載の光スイッチ。

12. 該光路変更部が、光を乱反射する光反射体、又光を散乱する光散乱

体を有する請求の範囲第1項に記載の光スイッチ。

13. 該光路変更部が、光を乱反射する光反射体、又光を散乱する光散乱体のみで構成されている請求の範囲第1項に記載の光スイッチ。

14. 少なくとも、光伝達部と、光路変更部と、アクチュエータ部とを有する光スイッチを複数個備える多チャンネル光スイッチであって、

該光伝達部は、少なくとも該光路変更部に対向する面の一部に設けられる、光を全反射する光反射面、及び該光反射面を起点に、少なくとも3方向に向けて設けられる、光導波体からなる光伝達経路を有してなり、

該光路変更部は、該光伝達部の該光反射面に移動可能な状態で近接され、少なくとも光を反射又は散乱する光路変更部材を有してなり、

該アクチュエータ部は、外部信号により変位し、該変位を該光路変更部に伝達する機構を有してなり、

該外部信号に応じた該アクチュエータ部の変位により、該光路変更部を該光伝達部の該光反射面に接触又は離隔させ、

該光路変更部が、該光伝達部の該光反射面から離隔した際に、該光伝達経路に入力した光を、該光伝達部の該光反射面で全反射させて出力側の特定の光伝達経路に伝達し、

該光路変更部が、該光伝達部の該光反射面に接触した際に、該光伝達経路に入力した光を取り出して、該光路変更部で反射又は散乱させて、該出力側の1又は2以上の特定の光伝達経路に伝達し、光路の切り替え又は分岐を行うことを特徴とする多チャンネル光スイッチ。

15. 複数の光スイッチにおける各光伝達経路が、単一の光伝達部で形成されてなる請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

16. 該複数の光スイッチにおける各光伝達経路が、相互に交差して、該各光伝達経路の一部を共用化する請求の範囲第15項に記載の多チャンネル光スイッチ。

17. 該複数の光スイッチが、隣接する光スイッチ間で、一の出力側光伝達経路と、一の入力側光伝達経路とを連結してなり、一の光スイッチにおけ



る入力端部から入力された光を、複数の光スイッチの各光路変更部でスイッチングを行う請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

18. 該複数の光スイッチが、複数の入力側経路を有する少なくとも一以上の光スイッチと、複数の出力側経路を有する少なくとも一以上の光スイッチとから構成され、かつ隣接する光スイッチ間で、一の出力側光伝達経路と、一の入力側光伝達経路とを連結してなり、複数の光スイッチの入力端部から入力された光を、複数の光スイッチの光路変更部でスイッチングを行う請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

19. 該複数の光スイッチが、隣接する光スイッチ間で、一の出力側光伝達経路と、一の入力側光伝達経路とを、それぞれ光ファイバーを介して連結してなり、少なくとも一の光スイッチにおける入力端部から入力された光を、複数の光スイッチの光路変更部でスイッチングを行う請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

20. 請求の範囲第17項に記載の多チャンネル光スイッチを、複数並列した多チャンネル光スイッチ。

21. 請求の範囲第18項に記載の多チャンネル光スイッチを、複数並列した多チャンネル光スイッチ。

22. 請求の範囲第19項に記載の多チャンネル光スイッチを、複数並列した多チャンネル光スイッチ。

23. 請求の範囲第17項に記載の多チャンネル光スイッチを複数個備え、該各多チャンネル光スイッチにおける各出力端部同士の少なくとも一部を、該各多チャンネル光スイッチとは別体として配設される、外部光伝達経路の入力端部を中心に円弧状に位置させて、該各多チャンネル光スイッチを配設する多チャンネル光スイッチ。

24. 請求の範囲第18項に記載の多チャンネル光スイッチを複数個備え、該各多チャンネル光スイッチにおける各出力端部同士の少なくとも一部を、該各多チャンネル光スイッチとは別体として配設される、外部光伝達経路の入力端部を中心に円弧状に位置させて、該各多チャンネル光スイッチを配

設する多チャンネル光スイッチ。

25. 請求の範囲第19項に記載の多チャンネル光スイッチを複数個備え、該各多チャンネル光スイッチにおける各出力端部同士の少なくとも一部を、該各多チャンネル光スイッチとは別体として配設される、外部光伝達経路の入力端部を中心に円弧状に位置させて、該各多チャンネル光スイッチを配設する多チャンネル光スイッチ。

26. 請求の範囲第17項に記載の多チャンネル光スイッチにおける各光伝達経路の光信号入力端部又は光信号出力端部に、それぞれ光分岐器又は光結合器を結合して、該光伝達経路の少なくとも一部を分岐又は集束した多チャンネル光スイッチ。

27. 請求の範囲第18項に記載の多チャンネル光スイッチにおける各光伝達経路の光信号入力端部又は光信号出力端部に、それぞれ光分岐器又は光結合器を結合して、該光伝達経路の少なくとも一部を分岐又は集束した多チャンネル光スイッチ。

28. 請求の範囲第19項に記載の多チャンネル光スイッチにおける各光伝達経路の光信号入力端部又は光信号出力端部に、それぞれ光分岐器又は光結合器を結合して、該光伝達経路の少なくとも一部を分岐又は集束した多チャンネル光スイッチ。

29. 請求の範囲第17項に記載の多チャンネル光スイッチにおける各光伝達経路の光信号入力端部又は光信号出力端部に、それぞれ光分岐器又は光合波器を結合して、該光伝達経路の少なくとも一部を分岐又は集束した多チャンネル光スイッチ。

30. 請求の範囲第18項に記載の多チャンネル光スイッチにおける各光伝達経路の光信号入力端部又は光信号出力端部に、それぞれ光分岐器又は光合波器を結合して、該光伝達経路の少なくとも一部を分岐又は集束した多チャンネル光スイッチ。

31. 請求の範囲第19項に記載の多チャンネル光スイッチにおける各光伝達経路の光信号入力端部又は光信号出力端部に、それぞれ光分岐器又は光

合波器を結合して、該光伝達経路の少なくとも一部を分岐又は集束した多チャンネル光スイッチ。

32. 請求の範囲第17項に記載の多チャンネル光スイッチ複数個の各出力端部又は各入力端部と、他の少なくとも一の該多チャンネル光スイッチにおける複数の入力端部又は出力端部とを連結してなる多チャンネル光スイッチ。

33. 請求の範囲第18項に記載の多チャンネル光スイッチ複数個の各出力端部又は各入力端部と、他の少なくとも一の該多チャンネル光スイッチにおける複数の入力端部又は出力端部とを連結してなる多チャンネル光スイッチ。

34. 請求の範囲第19項に記載の多チャンネル光スイッチ複数個の各出力端部又は各入力端部と、他の少なくとも一の該多チャンネル光スイッチにおける複数の入力端部又は出力端部とを連結してなる多チャンネル光スイッチ。

35. 該アクチュエータ部が、

圧電／電歪層と、該圧電／電歪層の一部に配設される少なくとも1対の電極とからなる圧電／電歪素子と、

該圧電／電歪素子の少なくとも一部と接して、該圧電／電歪素子を支持し、該圧電／電歪層の歪みを屈曲変位又は振動に変換する振動部材と、

該振動部材が振動できるように、該振動部材の少なくとも一部を固定する固定部材と、

該光路変更部と該圧電／電歪素子との間に必要に応じて配設され、該圧電／電歪素子の変位を光路変更部に伝達する変位伝達部材と

を有する請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

36. 該振動部材と該固定部材とが焼成一体化してセラミックス基体を構成し、かつ該振動部材を薄肉構造として、該セラミックス基体に、凹部又は空所を形成した請求の範囲第35項に記載の多チャンネル光スイッチ。

37. 該圧電／電歪素子が、陽極として機能する複数の層が連結してなる

陽極層と、陰極として機能する複数の層が連結してなる陰極層とが、セラミックスからなる圧電／電歪層を挟んで交互に積層された積層体からなる請求の範囲第35項に記載の多チャンネル光スイッチ。

38. 該光伝達部が、一の光導波体に、該光伝達部の該光反射面を起点に少なくとも3方向に光伝達経路が形成されるように、少なくとも2以上の光導波体を結合して構成される請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

39. 該光伝達部の複数の光信号入力端部及び／又は光信号出力端部に、それぞれ集光レンズ又はコリメータレンズを配設し、光信号を該集光レンズ又は該コリメータレンズを介して入出力する請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

40. 該光伝達部が、光の屈折率が異なる2以上の層からなる請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

41. 該光伝達部の一部に、光導波体からなる光伝達経路を形成する請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

42. 該光路変更部が、透光性の材質からなる光導入部材を有してなる請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

43. 該光路変更部が、光を正反射する光反射体を有する請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

44. 該光を正反射する光反射体が、該光導入部材の該変位伝達部材側の面に一体的に形成される光反射膜である請求の範囲第43項に記載の光スイッチ。

45. 該光路変更部が、光を乱反射する光反射体又光を散乱する光散乱体を有する請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

46. 該光路変更部が、光を乱反射する光反射体又光を散乱する光散乱体のみで構成されている請求の範囲第14項に記載の多チャンネル光スイッチ。

47. 該光路変更部の各々が、各光路変更部間で少なくとも2種以上の正

反射角度の光反射体を有する請求の範囲第 1 4 項に記載の多チャンネル光ス  
イッチ。

## 要 約 書

少なくとも、光伝達部と、光路変更部と、アクチュエータ部とを備える光スイッチである。光伝達部は、少なくとも光路変更部に対向する面の一部に設けられる、光を全反射する光反射面、及びこの光反射面を起点に、少なくとも3方向に向けて設けられる、光導波体からなる光伝達経路を有してなる。光路変更部は、光伝達部の光反射面に移動可能な状態で近接され、少なくとも光を反射又は散乱する光路変更部材を有してなる。アクチュエータ部は、外部信号により変位し、変位を光路変更部に伝達する機構を有してなり、外部信号に応じたアクチュエータ部の変位により、光路変更部を光伝達部の光反射面に接触又は離隔させる。そして、光路変更部が、光伝達部の光反射面から離隔した際に、光伝達経路に入力した光を、光伝達部の光反射面で全反射させて出力側の特定の光伝達経路に伝達し、光路変更部が、光伝達部の光反射面に接触した際に、光伝達経路に入力した光を取り出して、光路変更部で反射又は散乱させて、出力側の1又は2以上の特定の光伝達経路に伝達し、光路の切り替え又は分岐を行う。この光スイッチによれば、消費電力が小さく、かつ高速応答が可能であるとともに、小型化、高集積化が可能で、かつ信号の減衰を高度に低減することができ、更には、入力した特定の光毎にスイッチングを行うことができる。

い耐久性に優れたものとすることができる。